

LINEAMENTI MORFODINAMICI E SEDIMENTARI DEL LITORALE DEI CAMPI FLEGREI (CAMPANIA, ITALIA MERIDIONALE)

Ennio Cocco¹, Yone Iacono², Sabato Iuliano² & Maria Rosaria Lista²

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università "Federico II", Napoli. E-mail: encocco@unina.it

²c/o Dipartimento di Scienze della Terra, Università "Federico II", Napoli

RIASSUNTO

L'area in esame può essere suddivisa in tre settori a caratteri nettamente differenziati, il litorale di Cuma, che ne segna il limite occidentale, il Golfo di Pozzuoli, che ne costituisce la fascia orientale più complessa ed articolata ed il litorale di Miliscola che ne rappresenta il raccordo centrale.

Il litorale di Cuma. Esteso per oltre 6 km con orientamento N-S, questo settore costituisce la porzione terminale della piana costiera del F. Volturno, la cui foce è situata circa 20 km più a NW. Le spiagge basse e sabbiose sono limitate verso l'interno da cordoni dunari in parte allo stato naturale ed in parte fortemente antropizzati. L'evoluzione recente (periodo 1980-1998) è marcata da un arretramento generalizzato nel periodo 1980-1987 seguito da una tendenza all'avanzamento nel successivo periodo 1987-1998, con valori decrescenti procedendo da N verso S.

Il litorale di Miliscola. Si estende con orientamento W-E per circa 2 km tra i promontori di Monte di Procida e di Capo Miseno ed è limitato verso l'interno da un lago costiero (lago di Miseno). In conseguenza ad una forte crisi erosiva che aveva colpito l'area alla metà degli anni '70 sono state costruite tra il 1980 e il 1988 otto piattaforme-isole che hanno indotto un'accentuata ricostituzione della spiaggia a tergo delle opere; nella parte orientale del settore (verso Capo Miseno), dove tali opere sono assenti, si instaura una tendenza di tipo erosionale.

Il Golfo di Pozzuoli. Esteso per oltre 9 km, configura due ampie falcature semicircolari ad andamento E-W, costituite da coste alte e rocciose alternate a coste basse e sabbiose di limitata ampiezza. Profonde sono le modificazioni naturali ed antropiche rilevabili in questo settore: tra le prime si ricordano i fenomeni bradisismici che hanno interessato l'area fin dall'antichità portando alla sommersione di notevoli porzioni di territorio litoraneo, tra le seconde una urbanizzazione talmente spinta da stravolgere completamente l'assetto geoambientale naturale della fascia costiera.

ABSTRACT

Morphodynamical and sedimentary features of the coast of the Phlegrean Fields (Campania, Southern Italy). *The Phlegrean Fields are one of the most famous volcanic areas in the world. During the last 50,000 years this area has been formed by the activity of many eruptive centres and today it has the typical morphology of a volcanic field. At present the Phlegrean Fields are active, even if the last event was recorded a long time ago: the Monte Nuovo eruption in 1538. The endogenous activity is currently recorded by the frequent inversions of the vertical crustal movements (bradyseism), by the seismicity connected to the bradyseismic events and by the intense thermal activity. From the Roman Age up to this time the features of the bradyseismic events have not been defined yet because of the type and complexity of the phenomena; recent research shows that the greatest submersion (17÷18 m) was verified during the early Middle Ages. After the resurgence phase the ground has risen only 6÷7 m: the presence of the submerged Roman ruins shows the extent of the sinking. The coastal area could be divided into three clearly diversified sectors: the shore of Cuma constituting the western boundary; the Gulf of Pozzuoli representing the eastern zone, more complex and articulate; the shore of Miliscola, the central connection between the two preceding sectors.*

The shore of Cuma. This sector, extending for about 6 km with N-S orientation between Licola Mare and Monte di Procida promontory, constitutes the terminal part of the coastal plain of the Volturno River, which flows approximately 20 km to the NW. The low and sandy beaches are limited inland from some foredune ridges, partly natural and partly urbanized. In the northern sector, behind the foredune ridges, there is a wide swampy area reclaimed during the last century ("Mazzoni area and Licola Lake") and in the southern sector there is the Fusaro coastal Lake. In the central part the promontory of Cuma interrupts the outline of the coast; this promontory was the centre of the Acropolis during the Greek-Roman Age, but today the Acropolis has almost entirely disappeared. Within the depth of 5 m the submarine beach shows one or two bar-trough systems: the inner one is crescentic and frequently connected to the rhythmic topography of the shoreline, while the outer one is linear and situated at a distance of about 100 m from the coast. A gentle slope characterizes the submarine beach beyond the bar-trough zone. The evolution of the shoreline presents a general erosional tendency during the years 1980-1987, whereas a tendency to the progradation is evident during the years 1987-1998. The prevailing wind sector is delimited by the 180°-330°N azimuth; most storms are come in from the 270°-300°N sector.

The shore of Miliscola. The shore of Miliscola is situated between the Monte di Procida and Capo Miseno promontories and has an extension of approximately 2 km; it is limited inland from the Miseno coastal Lake. In the western tract we can find various defence works, while in the eastern tract a wide beach is evident. The submarine beach is characterized by a small bar-trough system within the 3 m depth and within a distance of less than 75 m from the coast. Eight circular breakwaters have been built from 1980 to 1988 because of strong erosion during the middle '70ies; in these years these defence works have brought an evident beach restoration. After which, until 1996, the shoreline position behind the breakwaters has remained substantially unchanged, while in the eastern part of the sector (toward Capo Miseno) an erosional tendency was observed with a value of 0.5 m/y.

The Gulf of Pozzuoli. This sector, extending for over 9 km and forming two large semi-circular zones with an W-E orientation, shows high and rocky coasts alternated with small, low sandy beaches. The prevailing wind sector is delimited by the 120°N and the 200°N azimuth; the significant waves come by the 120°-130°N and 180°N azimuth; the maximum fetch and the greatest energetic potential concerns the 180°N azimuth. In this area the modifications are very evident, natural as well as anthropic. Among the natural ones there are the bradyseismic events, that have caused the submersion of entire coastal tracts (for instance: the structures of the Portus Julius, the harbour of the ancient Roman imperial navy) and the Monte Nuovo eruption in 1538, that changed the coastal configuration in the western zone of the Gulf. Among the anthropic ones there is a strong urbanization ("ILVA" iron and steel industry, various defence work, artificial coastal platforms) that has completely destroyed the natural environment of the area.

Parole chiave: processi morfodinamici, distribuzione dei sedimenti, variazioni della linea di riva, interventi antropici, bradisismo.

Keywords: nearshore morphodynamics, sediment distribution, shorelines changes, human activities, bradyseism.

1. PREMESSA

In questa nota vengono riportati i risultati delle indagini condotte lungo il litorale dei Campi Flegrei (Campania) nel periodo 1996-98 nell'ambito del Prog. Strategico CNR "Ambiente e Territorio", sottoprogramma "Sistemi naturali ed antropici". In maggior dettaglio sono stati eseguiti 25 transetti batimetrici ortogonali alla costa entro la profondità di 15 m, prelevati ed analizzati 68 campioni di sedimenti di fondo subsuperficiali e determinate le principali caratteristiche dinamico-evolutive (parametri ondosi e variazioni recenti della linea di riva).

E. Cocco ha coordinato le ricerche, occupandosi in particolare degli aspetti relativi ai fenomeni bradisismici e della stesura finale del testo; Y. Iacono e S. Luliano hanno eseguito le varie campagne di rilevamento curando rispettivamente gli aspetti sedimentologici e quelli morfoevolutivi; M.R. Lista si è interessata della cartografia storica e delle modificazioni antropiche.

I Campi Flegrei costituiscono un'area vulcanica tra le più famose nel mondo. Formatasi nel corso degli ultimi 50.000 anni (Rosi & Sbrana, 1987) attraverso numerosi centri eruttivi che le hanno conferito la caratteristica morfologia di un campo vulcanico, l'area è ritenuta attiva sebbene sia stata registrata una sola manifestazione effusiva in epoca storica: l'eruzione del Monte Nuovo nel 1538. L'attività endogena non sopita è segnalata dalle frequenti inversioni del moto del suolo (bradisismo), dalla sismicità che accompagna le crisi bradisismiche e dalle intense manifestazioni termali. Per quanto riguarda l'evoluzione del fenomeno bradisismico dall'epoca romana ad oggi, gli studi più recenti (Cinque *et al.*, 1991; Di Vito & Luongo, 1993; Russo *et al.*, 1998; Milia *et al.*, 2000) indicano che la maggiore sommersione si è verificata in epoca alto medioevale superando i 17÷18 m dei quali solo 6÷7 sono stati recuperati in seguito alle successive fasi ascensionali (la testimonianza di uno sprofondamento così vistoso è data dalla presenza di ruderi romani a varie profondità nell'area di Baia e Miseno).

2. CARATTERI MORFODINAMICI E SEDIMENTARI

L'area in esame può essere suddivisa in tre settori a caratteri nettamente differenziati, il litorale di Cuma, che ne segna il limite occidentale, il Golfo di Pozzuoli, che ne costituisce la fascia orientale più complessa ed articolata ed il litorale di Miliscola che ne rappresenta il raccordo centrale (Fig. 1).

2.1 Il litorale di Cuma

Esteso per oltre 6 km con orientamento N-S tra Licola Mare ed il promontorio di Monte di Procida, questo settore costituisce la porzione terminale della piana costiera del F. Volturno, la cui

foce è situata circa 20 km più a NW; le spiagge basse e sabbiose sono limitate verso l'interno da cordoni dunari in parte allo stato naturale ed in parte fortemente antropizzati (Fig. 2), cui fanno seguito, a N, una vasta area acquitrinosa bonificata nel secolo scorso ("Mazzoni, Lago di Licola") ed a S il lago costiero del Fusaro. Il profilo della costa è interrotto nella parte centrale dal promontorio di Monte di Cuma, sede dell'antica acropoli di epoca romana (nulla, o quasi, rimane della città greca, la più antica d'Italia - Vallet, 1990).

L'assetto morfologico dei fondali antistanti il litorale di Cuma è stato delineato mediante l'elaborazione di 6 profili batimetrici eseguiti ad interasse medio di 400 m, fino alla profondità di 10 m. La spiaggia sottomarina presenta, entro la profondità di 4 m, uno o due sistemi di barra-truogolo con la cresta barra ad una profondità compresa tra 1,3 e 2,6 m (Figg. 3a e 3b); la barra interna risulta festonata e collegata alle ondulazioni ritmiche della linea di riva (*sand waves* - Cocco, 1976), mentre quella esterna è più rettilinea, ad una distanza di un centinaio di metri dalla battigia.

Le pendenze dei fondali sono inferiori all'1 % fino alla profondità di circa 1 m, per poi passare, in corrispondenza della zona del secondo ordine di barre, a valori compresi tra 1 e 2,5 %; oltre l'isobata dei 3 m le pendenze si addolciscono e, fino ai -10 m, sono comprese nell'intervallo 0,5÷1 % (Fig. 4).

Si ricorda che nell'area immediatamente a S del promontorio di Monte di Cuma era posizionato secondo l'ipotesi di Paget (1968) l'antico porto romano oggi obliterato da colluvioni e da materiale vulcanico; recenti indagini (Vecchi *et al.*, 2000) tendono ad ubicare il porto nella parte settentrionale del promontorio, in corrispondenza del Lago di Licola, oggi bonificato.

L'analisi delle variazioni recenti della linea di riva (Fig. 5) condotta attraverso il confronto aerofotografico (levate del 1980, 1987 e 1998) evidenzia tre zone a

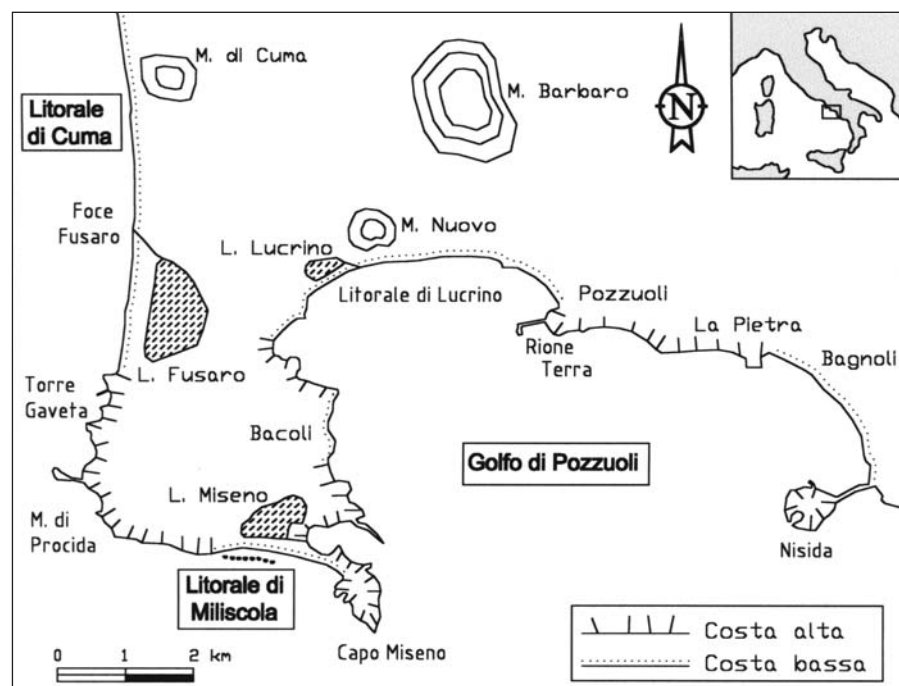


Fig. 1 - Ubicazione dell'area in studio.

Location of the study area.

Fig. 2 - Litorale di Cuma. Ad un'ampia spiaggia fa seguito un cordone dunare più o meno antropizzato. Sullo sfondo il promontorio di Monte di Cuma.

The shore of Cuma. The back-shore is followed inland by a fore-dune ridge more or less affected by human activities. In the background the Monte di Cuma promontory.

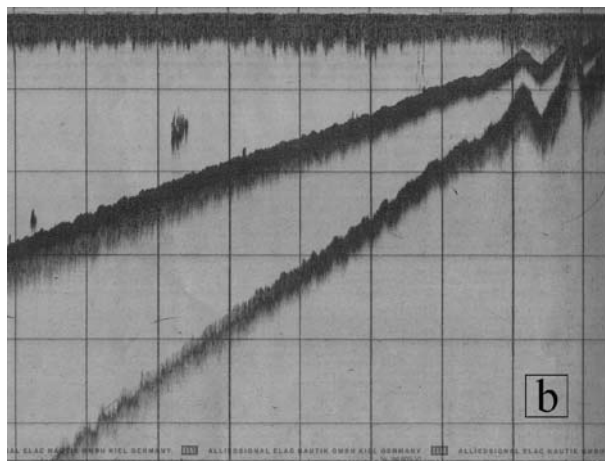
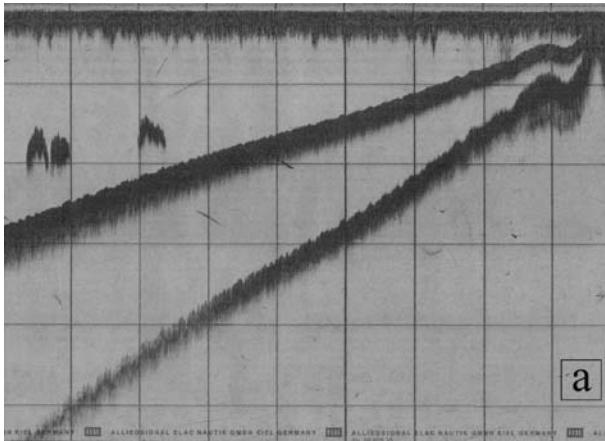


Fig. 3 - Litorale di Cuma. Profili batimetrici della spiaggia sommersa (ecografo Elac-Laz 721 munito di trasduttore a 200 kHz; le linee orizzontali indicano gli intervalli di profondità ogni 4 m): a- profilo ad un solo sistema di barre (P24, Fig. 4); b- profilo a doppio ordine di barre (P22, Fig. 4).

The shore of Cuma: bathigrams of submarine beach. An echograph model Elac-Laz 721 with a frequency of 200 kHz transducer was used, the horizontal lines indicate the 4 m depth intervals; a- single bar and trough profile (P24, Fig. 4); b- double bar and trough profile (P22, Fig. 4).

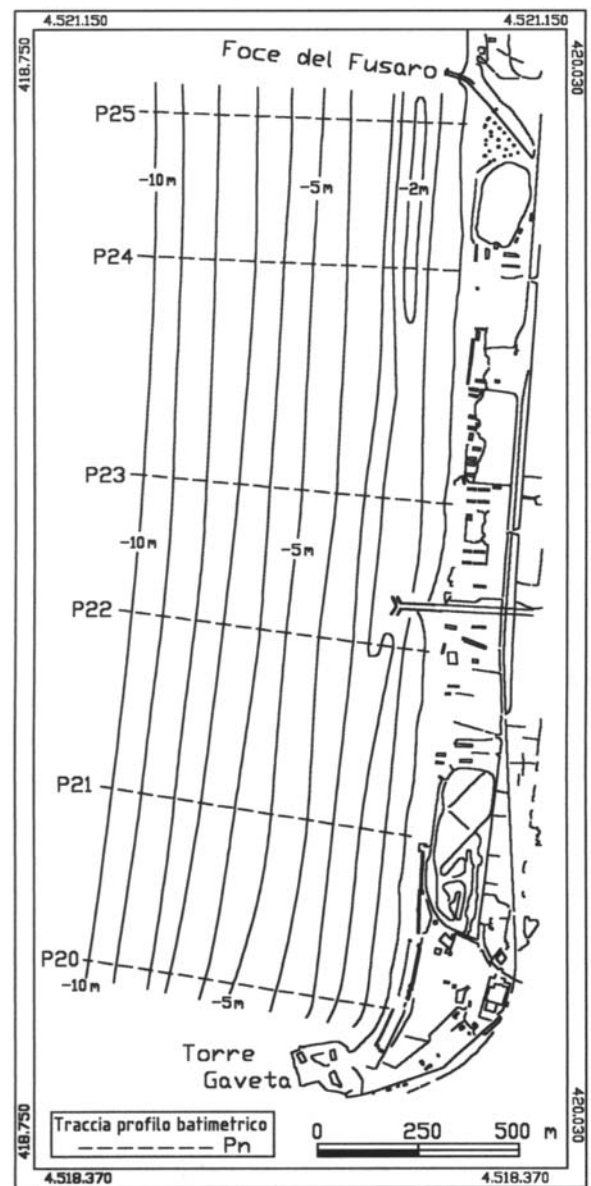


Fig. 4 - Litorale di Cuma. Carta delle isobate del tratto compreso tra Foce Fusaro e Torre Gaveta.

The shore of Cuma. Bathymetric map of the sector between Foce Fusaro and Torre Gaveta localities.

diversa evoluzione -rispettivamente comprese tra i punti di riferimento 1...7, 8...20 e 21...33- caratterizzate da una tendenza generalizzata all'arretramento nel periodo 1980-1987 e da una tendenza generalizzata all'avanzamento nel successivo periodo 1987-1998, sempre con valori decrescenti procedendo da N verso S. In particolare per il primo periodo i valori di arretramento medio risultano rispettivamente pari a 4,6 m, 1,8 m e 0,5 m per anno nelle tre zone citate, per il secondo periodo i valori di avanzamento medio risultano pari a 2,5 m, 1,4 m e 0,4 m per anno, sempre per le medesime aree.

L'arretramento evidenziato nel 1987 può essere attribuito alla mareggiata eccezionale che ha colpito la costa del Tirreno meridionale nel mese di gennaio.

Per quanto riguarda il regime meteomarinario, il settore di traversia risulta compreso tra 180°N e 330°N, il fetch massimo è pari a 401 miglia nautiche (direttrice 240°N), le ondatazioni di maggiore frequenza ed intensità (1350 eventi su un totale di 1820) provengono dal subsetto 270°-300°N (Tab. 1). L'altezza d'onda media di modellamento è compresa tra 0,7 e 2,16 m, l'altezza massima per un periodo di ritorno trentennale è pari a 7,18 m (direttrice 250°N).

2.2 Il litorale di Miliscola

Si estende per circa 2 km con orientamento W-E tra i promontori di Monte di Procida e di Capo Miseno (Fig. 6) ed è limitato verso l'interno da un lago costiero (lago di Miseno-Maremorto). Il tratto occidentale è caratterizzato da una serie di opere marittime a varia tipologia (8 piattaforme-isole, 3 scogliere aderenti, 1 pennello ed 1 foce armata) a difesa di una spiaggia di ampiezza ridotta, mentre quello orientale configura una profonda falcatura

con una spiaggia emersa ampia fino a 70 m.

I caratteri morfologici della spiaggia sommersa sono stati delineati mediante l'esecuzione di 9 profili batimetrici ad interasse di circa 200 m fino alla profondità di 10 m (Figg. 7 e 8): nella parte occidentale la morfologia è fortemente condizionata dalla presenza delle otto piattaforme-isole, che conferiscono ai fondali un andamento irregolare con pendenze variabili tra 1 e 4 %; nella parte orientale, dove le piattaforme mancano, i fondali risultano caratterizzati da un sistema barra truogolo poco sviluppato entro la profondità di 3 m ad una distanza dalla battigia non superiore a 75 m.

Oltre la profondità di 3 m e fino a -10 m la morfologia si regolarizza in tutto il settore, con pendenze com-

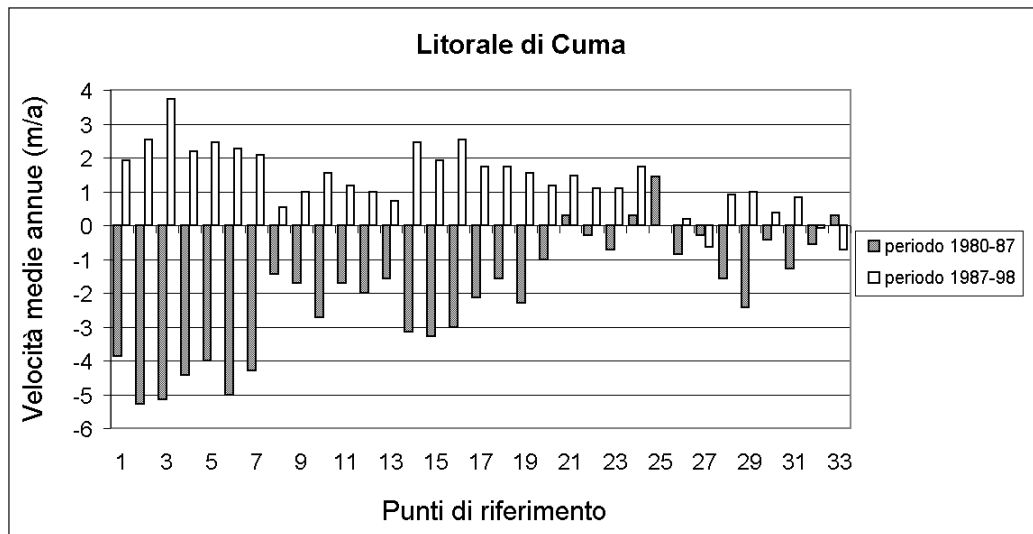


Fig. 5 - Litorale di Cuma. Diagramma delle variazioni della linea di riva nel periodo 1980-1998. I punti di riferimento presentano un intervallo di circa 300 m, procedendo da N verso S; i punti 9...15 marciano la spiaggia antistante il promontorio di Monte di Cuma.

The shore of Cuma. Shoreline changes during the 1980-1998 period. Reference points 9...15 mark the shore in front of the Monte di Cuma promontory.

Direzione di largo °N	Fetch		Eventi		Altezze d'onda				Energia/1000	
	Geog. m.n.	Eff. m.n.	n°	%	media m	10 anni m	20 anni m	30 anni m	Totale m ² s ²	%
180	4,3	10,0	110	6,0	0,80	2,00	2,26	2,41	6.398,46	0,69
190	6,5	19,9	54	3,0	1,04	2,48	2,83	3,04	8.579,20	0,93
200	8,6	34,6	37	2,0	1,24	2,82	3,22	3,45	9.267,78	1,00
210	8,6	54,0	26	1,4	1,07	2,45	2,79	2,98	4.153,63	0,45
220	9,2	76,7	25	1,4	1,15	2,41	2,77	2,97	4.466,46	0,48
230	10,2	100,7	37	2,0	1,16	2,50	2,87	3,09	7.433,42	0,80
240	401,0	123,4	44	2,4	1,61	3,77	4,42	4,80	27.247,76	2,95
250	213,0	141,4	46	2,5	2,16	5,39	6,52	7,18	71.140,87	7,70
260	200,0	152,3	69	3,8	1,49	4,04	4,79	5,22	30.551,60	3,31
270	194,0	154,1	220	12,1	1,85	5,40	6,22	6,68	227.314,70	24,62
280	219,0	146,8	306	16,8	1,61	5,67	6,46	6,91	210.038,30	22,74
290	213,0	131,5	492	27,0	1,49	5,33	6,05	6,47	231.258,50	25,04
300	225,0	110,6	231	12,7	1,31	4,24	4,88	5,24	71.686,62	7,76
310	36,4	87,3	65	3,6	1,04	2,93	3,44	3,74	8.830,12	0,96
320	26,7	64,5	38	2,1	1,05	2,66	3,10	3,35	4.620,30	0,50
330	8,6	44,2	20	1,1	0,74	1,73	1,91	2,01	492,57	0,05
			1.820	100,0%					923.480,30	100,00%

Tab. 1 - Litorale di Cuma. Principali caratteristiche del moto ondoso. Modello previsionale SMB (C.E.R.C., 1984), dati di vento rilevati alla Stazione di Ponza nel periodo 1951-1981.

The shore of Cuma. Main feature of wave climate (SMB method, wind data recorded at the Ponza St. during

prese tra 0,5÷1 % (lato piattaforme-isole) e 1,5÷2 % (lato Capo Miseno).

La spiaggia di Miliscola costituiva, fin dall'epoca romana, il limite meridionale dei due bacini portuali della flotta Augustea: il bacino interno (Maremorto) fungeva da cantiere navale, quello esterno -la baia di Miseno- costituiva il porto vero e proprio. Il nome della spiaggia deriva da "*Militium Schola*", cioè il campo di esercitazione e di addestramento delle reclute, ricordata come "*Schola Armaturarum*" in una iscrizione del IV sec. d.C. ivi rinvenuta. Da rilevare che, secondo Cinque *et al.* 1991, anche quest'area, oltre a quelle classiche di Baia e Pozzuoli, è stata soggetta a movimenti bradisismici,

come testimoniato dalla successione stratigrafica dei terreni che seppelliscono i resti del complesso termale di *Misenum* della prima metà del II sec. d. C., posti all'estremità sud orientale della spiaggia di Miliscola. L'area misenate avrebbe registrato, tra la fine del VII sec. ed il IX-X sec. d. C., un abbassamento di circa 11÷12 m.

L'equilibrio dinamico della spiaggia ha incominciato ad alterarsi allorquando negli anni '50/60 si è proceduto al prolungamento del canale di comunicazione tra il bacino di Maremorto (Lago Miseno) ed il mare: tale canale, fungendo da pennello, ha provocato un repentino arretramento (13 m nel periodo 1965-1974) dell'arenile di sottoflutto, posto ad est. Sul litorale in erosione si

è abbattuta nel 1976 una violenta mareggiata talché si è proceduto alla realizzazione di un progetto organico di difesa attraverso la messa in opera di barriere radenti e di otto piattaforme-isole tra il 1980 ed il 1988 (Figg. 6 e 9). Il progetto originale, mai ultimato, prevedeva la realizzazione di una nona piattaforma-isola e di due pennelli collegati alla piattaforme più esterne, la prima e la nona. Il confronto cartografico (Fig. 9) ha messo in evidenza, per il periodo 1978-1986, un'accentuata ricostituzione della spiaggia nell'area "protetta" dalle opere di difesa; con valori medi di avanzamento pari a 3 m per anno; ad est delle opere (zona di sottoflutto) la

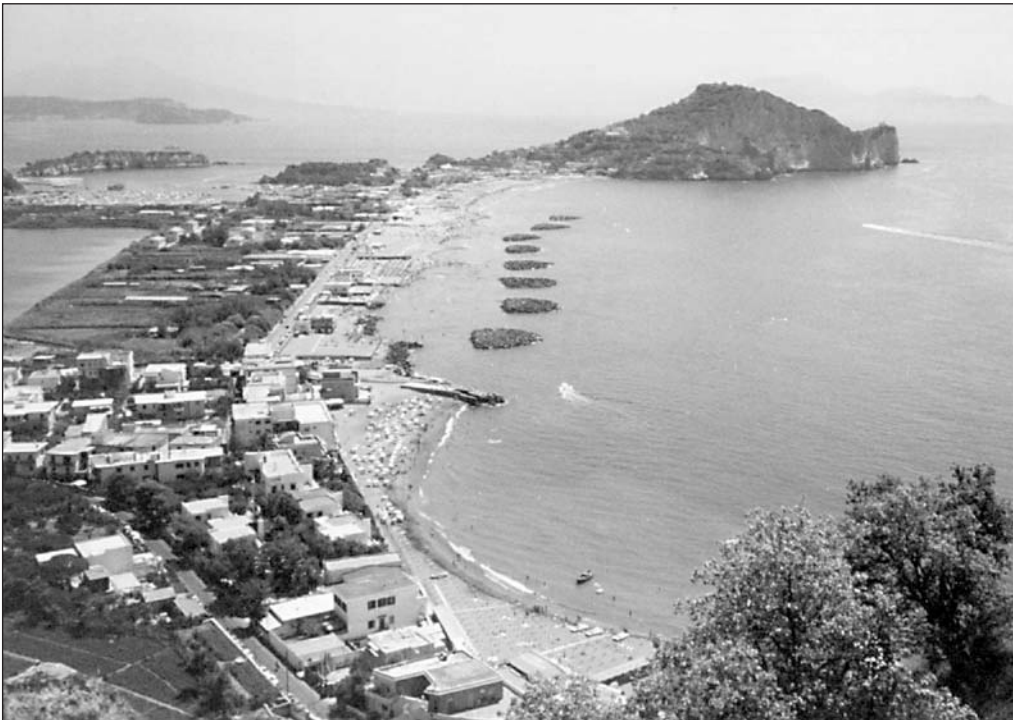
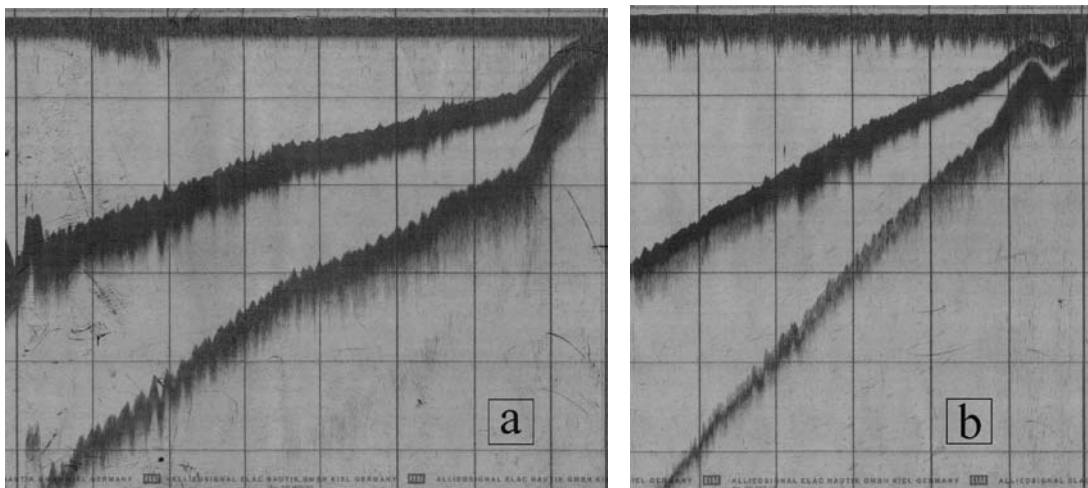


Fig. 6 - Panoramica del litorale di Miliscola. Al centro della foto si può osservare la foce armata del canale di comunicazione con il Lago Miseno (a sinistra); sullo sfondo Capo Miseno.

The shore of Miliscola towards Capo Miseno. Note the various defence works (jetties, seawalls and detached breakwaters) in the western part of the shore.

Fig. 7 - Litorale di Miliscola. Profili batimetrici della spiaggia sommersa (v. Fig. 3): a- profilo senza barre (P12, Fig. 8); b- profilo ad un solo ordine di barre (P16, Fig. 8).

The shore of Miliscola. Bathigrams of submarine beach (see Fig. 3): a- no bar profile (P12, Fig. 8); b- single bar and trough profile (P16, Fig. 8).



riva configura una repentina falcatura di erosione quindi, procedendo verso Capo Miseno (Grotta Dragonara), si osserva una debole tendenza alla progradazione.

Nel periodo 1986-1996 la posizione della linea di riva a tergo delle piattaforme-isole è rimasta sostanzialmente immutata, eccezion fatta per l'area a tergo delle ultime due piattaforme -posizionate proprio tra il 1986 ed il 1988- dove si verifica un notevole ripascimento (5 m/a). Nella parte orientale del settore (verso Capo Miseno), dove tali opere sono assenti, si instaura una tendenza di tipo erosionale con valori di arretramento nell'ordine di 0,5 m/a.

2.3 Il Golfo di Pozzuoli

Esteso per oltre 9 km, configura due ampie falcatore semicircolari ad andamento E-W, separate dalla falesia di Rione Terra (centro storico di Pozzuoli); la costa si presenta alta e rocciosa alternata a spiagge basse e sabbiose limitate talvolta verso l'interno da laghi costieri (Lucrino).

Nell'area occidentale del Golfo -litoreale di Lucrino, Fig. 10- sono stati eseguiti 10 profili batimetrici (Figg. 11 e 12) e prelevati 68 campioni di sedimenti di fondo mobile entro la profondità di 10 m.

I fondali si presentano con pendenze minori del 2% fino ai 5 m di profondità e con pendenze comprese tra 2 e 6 % a profondità maggiori (Fig. 12).

Seguendo la metodologia di Dias & Neal (1990) i sedimenti sono risultati per il 77% polimodali (fino ad un massimo di 6 mode), la maggiore frequenza è rappresentata dalla trimodalità (26%); sottoriva sono presenti sedimenti ad 1÷2 mode, procedendo verso il largo prevale la polimodalità (Fig. 13). L'applicazione di analisi statistiche (Iacono et al., 1998) ha permesso da un lato (*Cluster Analysis*) di individuare tre gruppi omogenei di sedimenti

caratterizzati dal raggruppamento di campioni a simile contenuto di silt, sabbia e ghiaia e dall'altro (*Biplot Analysis*) di legare l'esistenza dei tre gruppi con la loro composizione granulometrica prevalente permettendo di individuare le relazioni campioni-granulometria in modo più specifico.

In particolare queste analisi hanno evidenziato che i sedimenti della porzione occidentale del Golfo di Pozzuoli sono caratterizzati da un corpo principale prevalentemente sabbioso che talvolta si arricchisce in termini siltosi -rivenibili in aree a bassa energia riparate dal moto ondoso o a profondità superiori a 10 m- e talvolta si arricchisce in termini ghiaiosi rivenibili in ambiente ad alta energia (sottoriva). Quando questi ultimi sedimenti si rinvencono a profondità comprese tra 5

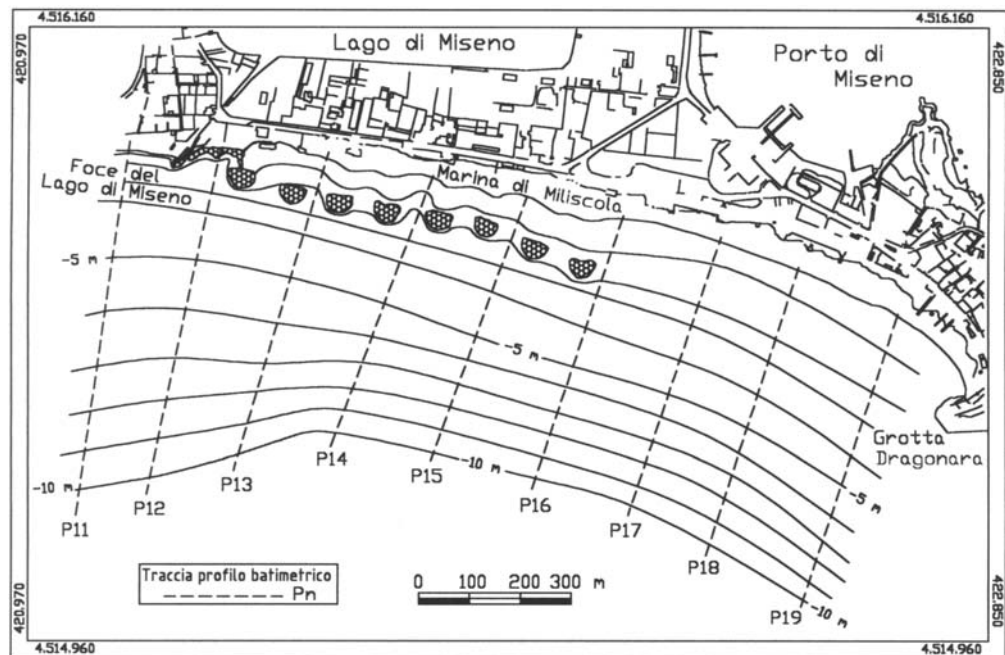


Fig. 8 - Litorale di Miliscola: carta delle isobate.

The shore of Miliscola: bathymetric map.

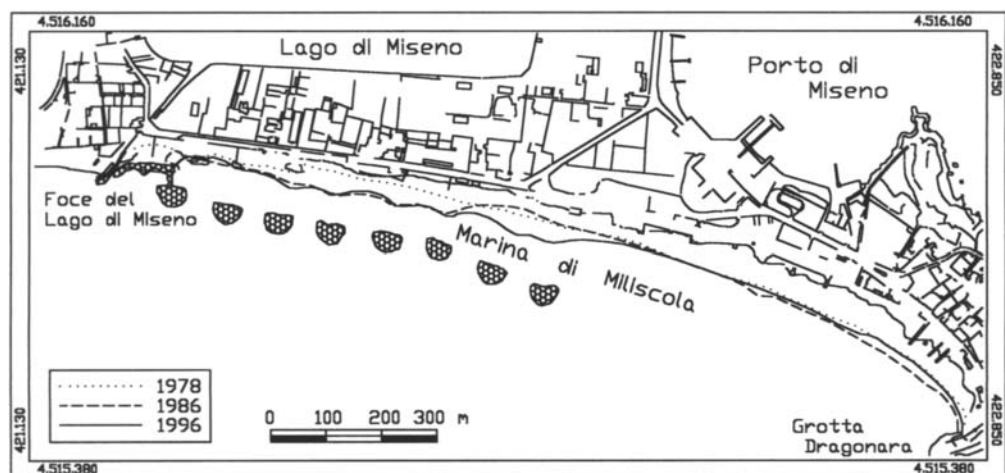


Fig. 9 - Litorale di Miliscola. Variazioni della linea di riva nel periodo 1978-1996 (dalla cartografia del Comune di Bacoli in scala 1:10.000).

The shore of Miliscola. Shoreline changes during the 1978-1996 period.



Fig. 10 - Panoramica del Litorale di Lucrino limitato verso l'interno dal Lago di Lucrino. Sullo sfondo, a destra, il vulcano di Monte Nuovo.

The shore of Lucrino, limited inland by Lucrino Lake. In the background, on the right, we can observe the Monte Nuovo volcano.

e 15 m, come nel caso in esame, testimoniano spiagge relitte.

La mobilitazione dei sedimenti avviene prevalentemente per long shore current da E verso W, come è confermato dalla configurazione asimmetrica della linea di riva nei pressi dei numerosi pennelli presenti nell'area di Lucrino. Si ricorda che studi precedenti (Cocco *et al.*, 1988a, 1988b) avevano evidenziato la presenza di antiche spiagge sommerse di epoca romana, marcate nell'area di Pozzuoli dalle strutture archeologiche del *Portus Julius* (il porto della flotta imperiale romana) alla profondità di circa 3 m (v. Figg. 14 e 15) e che i sedimenti presenti nella spiaggia sottomarina e nei fon-

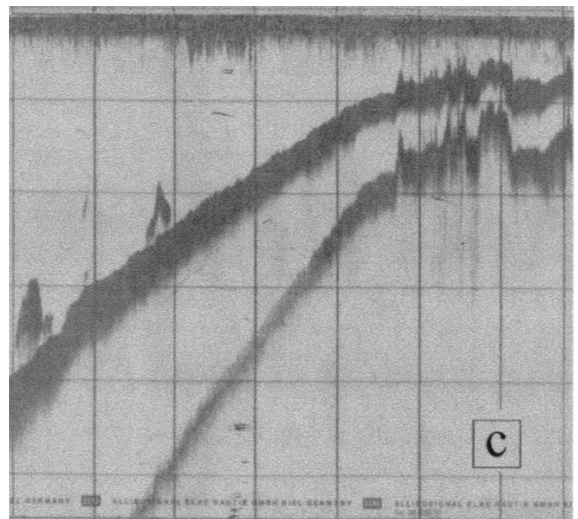
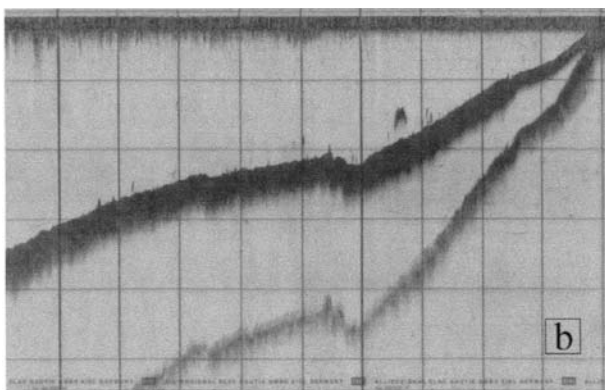
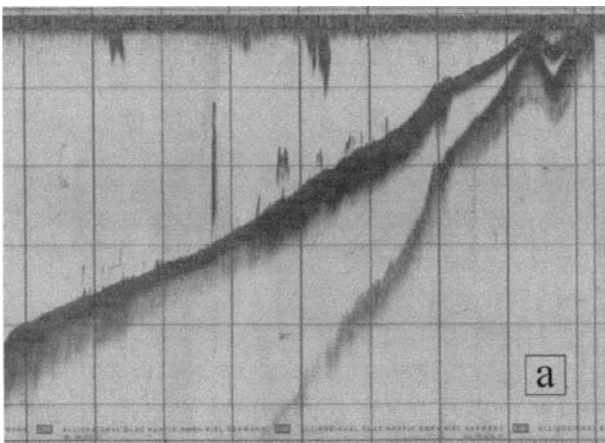


Fig. 11 - Litorale di Lucrino. Profili batimetrici della spiaggia sommersa (v. Fig. 3): a- profilo a doppio ordine di barre (P2, Fig. 12); b- profilo senza barre (P4, Fig. 12); c- profilo con i ruderi sommersi del "Portus Julius" (P8, Fig.12) che indicano l'antica linea di costa di epoca romana alla profondità di 4 m (v. Fig. 15).

The shore of Lucrino. Bathigrams of submarine beach (see Fig. 3): a- double bar and trough profile (P2, Fig. 12); b- no bar profile (P4, Fig. 12); c- profile with the ruins of "Portus Julius" (P8, Fig.12) that show the ancient coastline during the Roman Age at the -4 m depth (see Fig. 15).

dali entro la profondità di 30 m erano costituiti esclusivamente da sabbie da molto fini a molto grossolane, con una dispersione delle frazioni più sottili dalle aree centrali del golfo sia verso W che verso E. La presenza di sabbie grossolane a profondità superiori a 10-12 m era stata correlata proprio ai depositi relitti delle antiche spiagge.

Dal punto di vista meteomarinario, il settore di traversia del Golfo di Pozzuoli (porzione occidentale, litorale di Lucrino) risulta compreso tra 120°N e 200°N (Tab. 2), i fetches sono compresi tra 1 e 20 miglia nautiche, fatta eccezione per la direttrice 180°N cui corrisponde l'estensione di 162 m.n. ed una frequenza molto alta degli eventi (141 su un totale di 704, pari al 20%). L'altezza d'onda media di modellamento è compresa tra 0,66 e 1,38 m, l'altezza massima per un periodo di ritorno trentennale è pari a 3,78 m (direttrice 170°N).

2.3.1 Le modificazioni naturali

La costa flegrea negli ultimi due millenni è stata oggetto di ripetute sommersioni da parte del mare a causa dei moti bradisismici con forti modificazioni della topografia costiera (Figg. 14 e 15). Grazie allo studio condotto sui fori di litoromi riscontrati sulle colonne del Serapeo di Pozzuoli (Parascandola, 1947) è stato stabilito che l'area flegrea sia iniziata a sprofondare già dal I-II secolo d.C.; questa fase di moto discendente

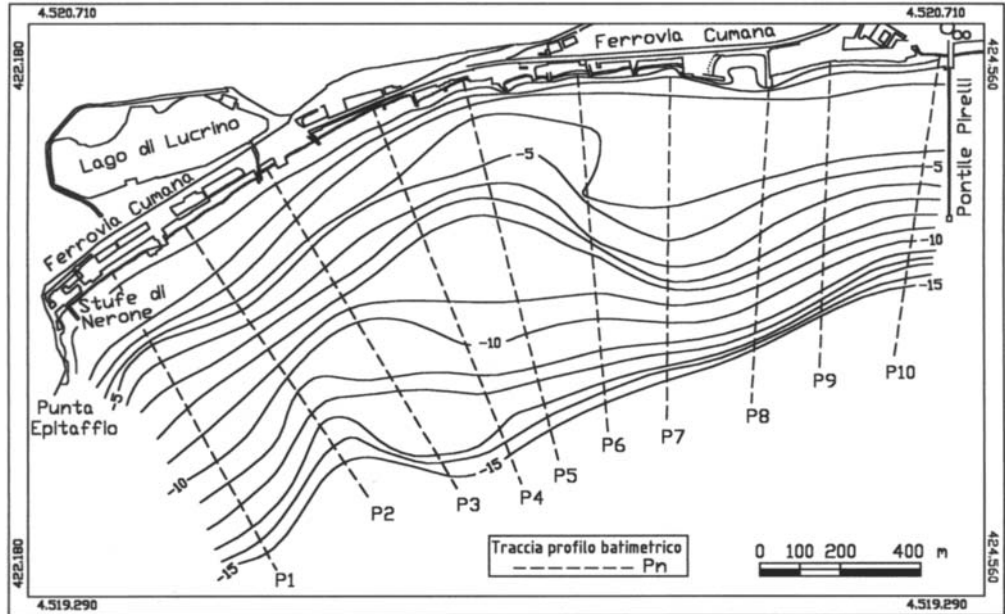


Fig. 12 - Litorale di Lucrino. Carta delle isobate.
The shore of Lucrino. Bathymetric map.

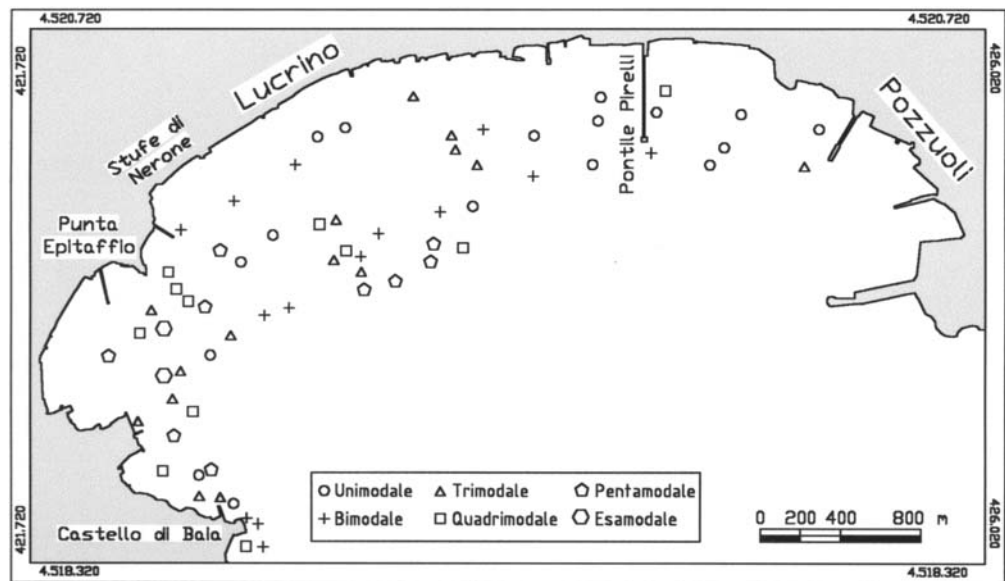


Fig. 13 - Distribuzione areale delle mode dei sedimenti della spiaggia sommersa di Lucrino.
The Lucrino submarine beach: spatial distribution of the modes of the sediments.

Direzione di largo °N	Fetch		Eventi		Altezze d'onda				Energia/1000	
	Geog. m.n.	Eff. m.n.	n°	%	media m	10 anni m	20 anni m	30 anni m	Totale m^2*s^2	%
120	3,8	8,8	179,00	25,4	0,66	1,65	1,80	1,88	4.259,59	4,68
130	18,1	12,8	72,00	10,2	1,02	2,27	2,55	2,72	10.236,64	11,25
140	17,2	17,0	45,00	6,4	1,20	2,41	2,83	3,07	10.059,03	11,05
150	18,3	20,9	51,00	7,2	1,05	2,46	2,84	3,05	7.316,29	8,04
160	16,7	23,8	32,00	4,5	1,38	2,70	3,14	3,39	11.020,62	12,11
170	16,7	25,0	52,00	7,4	1,31	3,03	3,50	3,78	14.733,96	16,19
180	162,0	24,4	141,00	20,0	1,09	2,81	3,19	3,41	21.938,55	24,11
190	2,1	22,0	81,00	11,5	1,02	2,33	2,60	2,76	9.211,64	10,12
200	1,1	18,2	51,00	7,2	0,84	1,90	2,10	2,22	2.231,24	2,45
			704,00	100,0%					91.007,55	100,00%

Tab. 2 - Litorale di Lucrino. Principali caratteristiche del moto ondoso. Modello previsionale SMB (C.E.R.C., 1984), dati di vento rilevati alla Stazione di Ponza nel periodo 1951-1981.
The shore of Lucrino. Main featur of wave climate (SMB method, wind data recorded at the Ponza St. during the 1951-1981 period).

sarebbe continuata fino al X secolo d.C. superando i 17-18 m dei quali solo 6-7 sono stati recuperati in seguito alle successive fasi ascensionali (Russo *et al.*, 1994). Dopo un periodo di stasi, sarebbe seguito, dall' XI fino al XVI secolo, un innalzamento culminato con l'eruzione del Monte Nuovo nel 1538 la quale dovette apportare

profonde modifiche alla morfologia della costa il cui bordo era costituito verosimilmente dalla falesia de "la Starza" (Fig. 14). Il Lucrino a quel tempo non era un lago, mentre il lago d'Averno era aperto verso il mare da cui era limitato mediante una imponente diga foranea. A partire dal XVII secolo si è assistito ad un lento abbas-

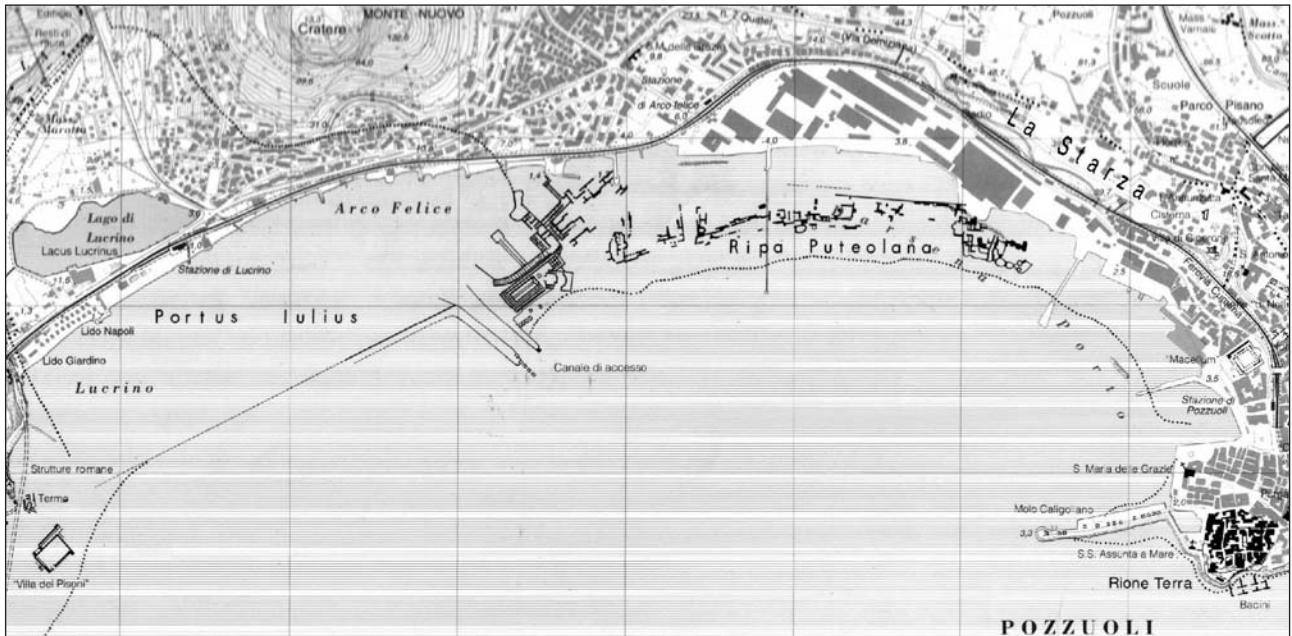


Fig. 14 - Configurazione della costa flegrea in epoca romana con il Portus Iulius e la linea di riva (Ripa Puteolana). (Da S.T.R. - 1993, modificata).

The coastal morphology of the Gulf of Pozzuoli during the Roman Age.

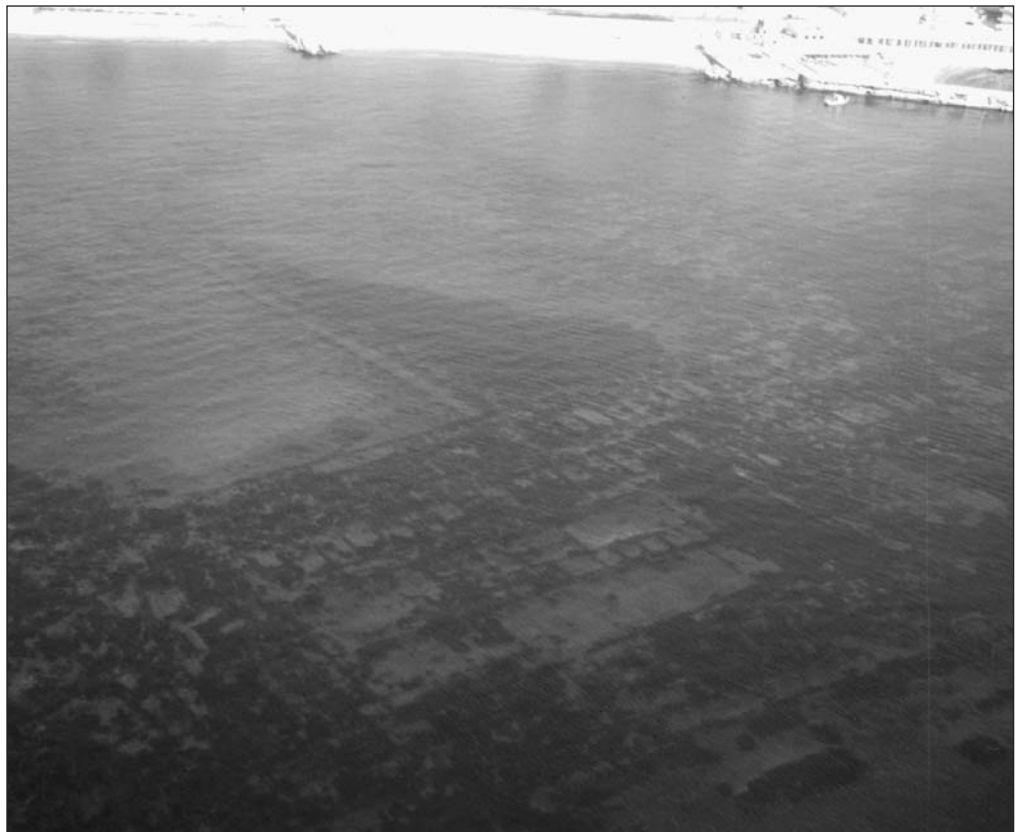


Fig. 15 - Ruedi sommersi dell'antico porto romano di età augustea (Portus Iulius) nell'area prospiciente il litorale di Lucrino (Foto Cocco, 1987).

Submerged ruins of the "Portus Iulius", the harbour of the ancient Roman imperial navy, in front of the Lucrino shore.

samento del suolo fino alle crisi bradisismiche del 1970-1972 e 1982-1984, caratterizzate da rapidi e vistosi sollevamenti fino ad un massimo di 330 cm in corrispondenza della falesia di Rione Terra, su cui sorge il centro storico di Pozzuoli (Di Vito *et al.*, 1987).

Proprio la dinamica delle due ultime crisi fa supporre, anche sulla base delle documentazioni storiche, che la sommersione di epoca medioevale sia imputabile ad un rapido sprofondamento piuttosto che ad un lento e secolare abbassamento (Di Vito & Luongo, 1993).

Queste ultime crisi non hanno comportato variazioni planimetriche delle spiagge poste ai limiti occidentale ed orientale del Golfo, come è testimoniato dal confronto delle numerose carte topografiche e levate aeree a disposizione per il periodo 1981-1998 (in particolare il confronto 1981-1986 indica una sorprendente stabilità della linea di riva in special modo nell'area delle Stufe di Nerone, Fig. 16) e come è confermato dai dati dell'Osservatorio Vesuviano nell'ambito della sorveglianza delle aree vulcaniche napoletane. Le misure distanziometriche effettuate nell'area nel periodo 1983-1995 (Osservatorio Vesuviano, 1995) hanno mostrato una contrazione delle linee misurate (13 cm nel periodo novembre '91 - giugno '95) coerenti con la fase di deflessione della caldera.

Un'ulteriore conferma è data dal fatto che l'area interessata dal sollevamento presenta una forma circolare con raggio di circa 6 km con centro nella zona del Porto di Pozzuoli dove gli spostamenti verticali raggiungono la massima entità di sollevamento (330 cm), mentre vanno via via decrescendo fino ad un minimo di 40-20 cm procedendo verso W e verso E proprio in corrispondenza rispettivamente con le spiagge di Lucrino e di Bagnoli-Coroglio.

2.3.2 La cartografia storica

Le prime carte topografiche dei Campi Flegrei risalgono al XVI secolo e sono opera di incisori fiamminghi. Esse sono sostanzialmente riconducibili a due filoni: il primo, derivato dalle incisioni del pittore G. Hoefnagel, rientra nel genere del paesaggio pittorico, con poche indicazioni di siti specifici; il secondo, che risale all'olandese N. Van Aelst, è costituito da vere e proprie carte topografiche, intese come rappresentazione dettagliata del territorio, benché resa in maniera figurativa. Al modello di carte di Van Aelst si rifecero tutti i cartografi successivi, a cominciare da Cartaro nella redazione del suo *Ager Puteolanus* del 1584, molto interessante per la rappresentazione che vi si fa di molti edifici antichi, nonché di vie di comunicazioni interne. Nella seconda metà del XVIII secolo, sotto la spinta di nuovi interessi scientifici, quali la vulcanologia e la geologia, la rappresentazione cartografica cominciò a diventare

sempre meno figurativa e più tecnica.

Risale a questo periodo, precisamente al 1782, la "Carte du Golfe de Pouzzoles avec une partie des Champs Phlégréens dans la Terre de Labour", disegnata da un ingegnere militare del Regno Borbonico, Pietro La Vega, e inclusa nel "Voyage Pittoresque" di Saint-Non. In questa carta topografica si ritrova una particolare attenzione per le testimonianze archeologiche accompagnata da una grande precisione nella rappresentazione dell'orografia.

Sempre nella seconda metà del XVIII secolo, con l'istituzione dell'Officina Topografica di G. A. Rizzi Zannoni, nacque una vera e propria scuola di incisione topografica e cominciò una produzione cartografica sistematica che culminerà con la pubblicazione degli Atlanti Terrestre e Marittimo e di varie carte a grande scala dell'area napoletana. Tra queste è da segnalare la carta dell'Agro Napoletano, alla scala 1:50.000, risalente al 1793 e la "Carta Topografica ed Idrografica dei contorni di Napoli" alla scala 1:25.000 risalente al 1818-1819, mostrante con grandissima ricchezza di dettaglio tutte le particolarità del territorio (Valerio, 1983). Tale carta costituirà, per oltre mezzo secolo, l'unico riferimento attendibile, non solo dell'area flegrea, ma di tutta l'area napoletana (Laureti, 1983), tanto da venire ulteriormente aggiornata, nel 1872, da parte dell'Istituto Topografico Militare Italiano, sorto, dopo la proclamazione del Regno d'Italia, dalla fusione degli uffici topografici dei vari stati della penisola.

2.3.3 Le modificazioni antropiche

Fino al 1880 i Campi Flegrei erano ancora incontaminati, immersi nel verde e circondati da un mare ancora pescoso e cristallino (Giamminelli, 1987). Oltre alla pesca, il termalismo, con le annesse attività ricreative ed alberghiere, era una delle fonti primarie dell'economia flegrea, tant'è che fu ideato da Lamont Young (Alisio, 1984) un grandioso progetto che prevedeva l'utilizzazione dell'arenile per la balneazione, la costruzione di grandi alberghi, di palazzi per esposizioni e, ovviamente, di abitazioni disposte in maniera molto elegante e separate, di tanto in tanto, da canali alimentati dal mare. Questo progetto non fu mai realizzato, anzi, l'economia puteolana fu parzialmente trasformata, nel 1886, dall'istallazione dello Stabilimento metallurgico

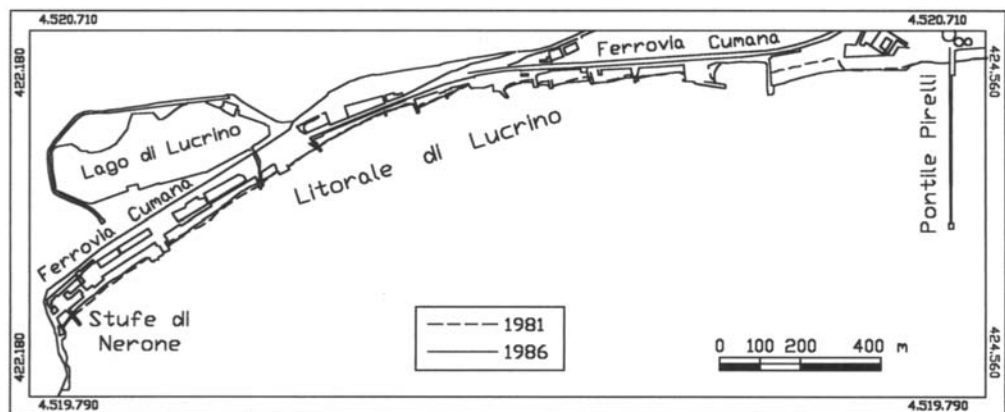


Fig. 16 - Litorale di Lucrino. Variazioni della linea di riva nel periodo 1981-1986 (dalla cartografia del Comune di Pozzuoli in scala 1:4.000).

The shore of Lucrino. Shoreline changes during the 1981-1986 period.

Armstrong che occupò quasi completamente il litorale tra Pozzuoli ed Arco Felice, dando così inizio al progressivo degrado ambientale ed all'alterazione del paesaggio costiero che nei decenni successivi, con il procedere dell'industrializzazione (ad es. ILVA di Bagnoli), interessarono tutto il Golfo.

Negli ultimi 50 anni si evidenzia la progressiva e totale antropizzazione della fascia costiera: lungo il tratto occidentale del Golfo (Stufe di Nerone - Porto di Pozzuoli) la linea di riva si presenta frazionata in tante curve spezzate, limitate da opere di difesa trasversali; il settore centrale risulta caratterizzato dalla presenza, quasi ininterrotta, di barriere emerse, talché il lungomare di Pozzuoli (Figg. 17 A e B) e la strada litoranea verso Bagnoli risultano separate dal mare a mezzo di una continua scogliera aderente e di ripetute colmate in cemento; la fascia orientale (La Pietra - Coroglio) presenta lunghi pontili ed ampie piattaforme artificiali, legati agli stabilimenti industriali (Figg. 17 C e D).

3. CONCLUSIONI

Le ricerche condotte lungo la fascia costiera dei Campi Flegrei hanno messo in evidenza tre tratti a caratteri ed evoluzione differenziati.

1) *Il litorale di Cuma*, con l'assetto tipico di una costa sabbiosa deposita limitata verso l'interno da cordoni dunari più o meno antropizzati, alimentata dal materiale terrigeno proveniente dal F. Volturno, attraverso

so le correnti di lungo costa. Il settore risulta molto esposto alle ondate provenienti da W-NW.

2) *Il litorale di Miliscola*, caratterizzato da una marcata crisi erosiva negli anni '70 cui si è cercato di porre rimedio attraverso la realizzazione di numerose opere di difesa che hanno stabilizzato solo parzialmente il settore inducendo una tendenza all'arretramento nell'area di sottoflutto.

3) *Il Golfo di Pozzuoli*, caratterizzato da profonde modifiche naturali fin dall'epoca storica (bradisismo, eruzione di Monte Nuovo) e da una antropizzazione crescente a partire dalla fine del XIX secolo ad oggi (le spiagge naturali oggi sono praticamente assenti). Le ultime crisi bradisismiche degli anni '70 e '80 hanno provocato una evidente emersione (oltre 300 cm) della falesia di Rione Terra su cui sorge il centro storico di Pozzuoli, ma non hanno comportato variazioni planimetriche apprezzabili delle spiagge poste ai limiti occidentale (Lucrino) ed orientale (Bagnoli) del Golfo dove i sollevamenti sono stati dell'ordine di pochi decimetri.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia l'ing. M. Serpico per il contributo relativo alla definizione delle caratteristiche principali del moto ondoso.

La stampa del presente articolo è stata supportata da fondi di ricerca individuali.



Fig. 17 - Antropizzazione della fascia costiera. A e B: come si presentava il lungomare di Via Napoli (Pozzuoli) negli anni '50 e nel 1998. C e D: il litorale di Bagnoli agli inizi del '900 e nel 1998.

Human activities along the coast of Pozzuoli (during the '50 -A and 1998 -B) and Bagnoli (in the beginning of 1900 -C and in 1998 -D).

LAVORI CITATI

- Alisio G. (1984) - *"Lamont Young: utopia e realtà nell'urbanistica napoletana dell'Ottocento"*. Officina Edizioni, Roma, 194 pp.
- C.E.R.C. (Coastal Engineering Research Center) (1984) - *Shore protection manual (4th ed.)*. U.S. Army Corps of Engineers, Vol. 1-2.
- Cinque A., Russo F. & Pagano M. (1991) - *La successione dei terreni di età post-romana delle Terme di Miseno (Napoli): nuovi dati per la storia e la stratigrafia del bradisisma puteolano*. Boll. Soc. Geol. It., **110**, 231-244.
- Cocco E. (1976) - *Forme costiere ritmiche "sand waves" lungo il litorale Alto Ionico (Golfo di Taranto)*. Boll. Soc. Geol. It., **94**, 861-869.
- Cocco E., de Magistris M.A. & De Pippo T. (1988) - *Distribuzione e dispersione dei sedimenti nella piattaforma costiera del Golfo di Pozzuoli*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 983-993.
- Cocco E., De Pippo T., Efaicchio M.T. & Tarallo F. (1988) - *Caratteri morfologici della piattaforma costiera del Golfo di Pozzuoli*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 995-1004.
- Dias Alveirinho J. M. & Neal, W.J. (1990) - *Modal size classification of sands: an example from the Northern Portugal, continental shelf*. Journal of Sedimentary Petrology, **60**, n. 3, 426-437.
- Di Vito M., Lirer L., Mastrolorenzo G. & Rolandi G. (1987) - *The 1538 Monte Nuovo eruption (Campi Flegrei, Italy)*. Bull. Volcanol., **49**, 608-615.
- Di Vito M. & Luongo G. (1993) - *Bradyseism and sea level variations in the Neapolitan area over the last 12,000 years*. Atti del Convegno: "L'evoluzione dell'ambiente fisico nel periodo storico nell'area circum-mediterranea". Ravello, 5-8 giugno 1993, in stampa su P.A.C.T.
- Iacono Y., Bucciante A. & Cocco E. (1998) - *The distribution of sediments in the Pozzuoli Gulf (Naples, Italy): a multivariate approach*. Proceedings of IAMG '98 (Bucciante A., Nardi G. & Potenza R., Eds) Isola d'Ischia, Naples, 519-525.
- Giamminelli R. (1987) - *Immagine dei Campi Flegrei fra Ottocento e Novecento nelle cartoline della collezione Michele Iaccarino*. Guida Ed., Napoli.
- Laureti L. (1983) - *La rappresentazione cartografica dei Campi Flegrei e del Vesuvio*. In "Cartografia napoletana dal 1781 al 1889", a cura di Alisio G. e Valerio V. Prismi, Editrice Politecnica, Napoli, 61-66.
- Milia A., Torrente M.M. & Giordano F. (2000) - *Active deformation and volcanism offshore Campi Flegrei, Italy: new data from high-resolution seismic reflection profiles*. Marine Geology, **171**, 61-73.
- Osservatorio Vesuviano (1995) - *La sorveglianza delle aree vulcaniche napoletane*. Rapporto Dicembre 1995, 47 pp.
- Paget R.F. (1968) - *The ancient port of Cumae*. The Journal of Roman Studies, **58**, 1-2, 148-169.
- Parascandola A. (1947) - *I fenomeni bradisismici del Serapeo di Pozzuoli*. Guida, Napoli, 115 pp.
- Rosi M. & Sbrana A. (Eds) (1987) - *Phlegrean Fields*. Quad. de "La Ricerca Scientifica", CNR, Roma, **114**, 168 pp.
- Russo F., Calderoni G. & Lombardo M. (1998) - *Evoluzione geomorfologia della depressione Bagnoli-Fuorigrotta periferia urbana della città di Napoli*. Boll. Soc. Geol. It., **117**, 21-38.
- Russo F., Donadio C. & Galeotti F. (1994) - *Risultati di recenti rilevamenti geomorfologici e geoarcheologici nell'area costiera puteolana*. IV Conf. Scient. sulle attività di ricerca dei Dipartimenti geomorfologici, 21-23 aprile 1994, 205-207.
- S.T.R. (1993) - *Campi Flegrei - Viaggio nel mito*. Carta in scala 1:15.000. Napoli.
- Valerio V. (1983) - *La Carta dei contorni di Napoli degli anni 1817-1819 ed il Reale Ufficio Topografico del Regno di Napoli*. In "Cartografia napoletana dal 1781 al 1889", a cura di Alisio G. e Valerio V. Prismi, Editrice Politecnica, Napoli, 29-40.
- Vallet G. (1990) - *I Greci in Campania*. In "I Campi Flegrei - un itinerario archeologico" (a cura di Amalfitano P., Camodeca G., Medri M.). Marsilio Editori, Napoli, 7-10.
- Vecchi L., Morhange C., Blanc P.-F., Goiran J.-P., Bui Thi Mai, Bourcier M., Carbonel P., Demant A., Gasse F., Girard M. & Verrecchia E. (2000) - *La mobilité des milieux littoraux de Cumae, Champs Phlégréens, Campanie, Italie du Sud*. Méditerranée N° 1-2, 71-82.

Ms. ricevuto il 19 febbraio 2002
 Testo definitivo ricevuto il 24 settembre 2002

Ms. received: February 19, 2002
 Final text received: September 24, 2002